

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-18328

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月22日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 2 K 1/14

H 0 2 K 1/14

Z

1/27

5 0 1

1/27

5 0 1 A

21/16

21/16

M

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願平9-170002

(22) 出願日

平成9年(1997) 6月26日

(71) 出願人 000100768

アイシン・エイ・ダブリュ株式会社

愛知県安城市藤井町高根10番地

(72) 発明者 山口 康夫

愛知県安城市藤井町高根10番地 アイシ

ン・エイ・ダブリュ株式会社内

(72) 発明者 長谷部 正広

愛知県安城市藤井町高根10番地 アイシ

ン・エイ・ダブリュ株式会社内

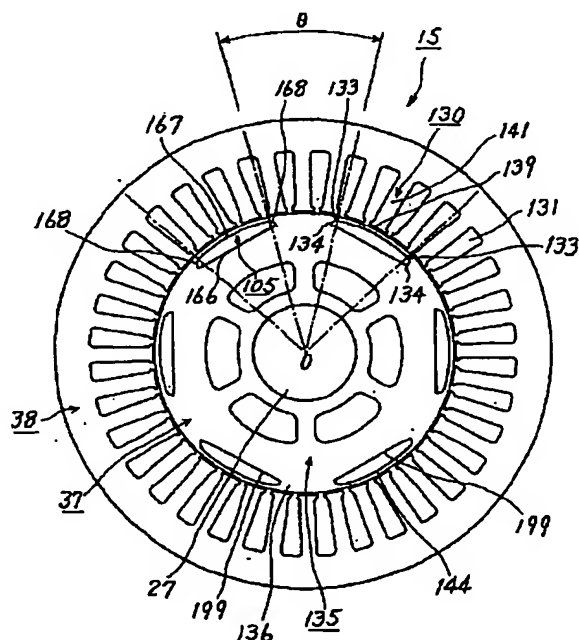
(74) 代理人 弁理士 川合 誠 (外1名)

(54) 【発明の名称】 永久磁石式同期電動機

(57) 【要約】

【課題】 コギングトルクが発生するのを十分に抑制する。

【解決手段】 各ティース130間にスロット131が形成されたステータ38と、回転自在に支持された回転軸と、ロータ37とから成る。そして、磁極間鉄心開角を $\theta$ とし、磁極間鉄心136の幅に対応するティース130の各端面のうち最も離れた二つの端面の先端と、前記回転軸の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度の最小値を $\theta_{MIN}$ とし、前記磁極間鉄心136の幅に対応するティース130におけるティースヘッド139の各端面のうち最も離れた二つの端面と、前記回転軸の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度の最大値を $\theta_{MAX}$ としたとき、 $\theta_{MIN} \leq \theta \leq \theta_{MAX}$ となるように前記磁極間鉄心136の幅が設定される。永久磁石105がスロット131を通過するとき磁束の移動が不連続になることがない。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 円周方向における複数箇所にてィースを備え、該各ィース間にスロットが形成されたステータと、該ステータの径方向内方において回転自在に支持された回転軸と、該回転軸に固定されたロータとから成るとともに、該ロータは、円周方向における複数箇所にて埋設された永久磁石、及び該永久磁石を保持し、各永久磁石間に磁極間鉄心を形成するロータコアを備え、かつ、磁極間鉄心開角を  $\theta$  とし、前記磁極間鉄心の幅に対応するィースの各端面のうち最も離れた二つの端面の先端と、前記回転軸の中心とを結ぶ 2 本の直線が成す角度の最小値を  $\theta_{min}$  とし、前記磁極間鉄心の幅に対応するィースにおけるィースヘッドの各端面のうち最も離れた二つの端面と、前記回転軸の中心とを結ぶ 2 本の直線が成す角度の最大値を  $\theta_{max}$  としたとき、

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$

となるように前記磁極間鉄心の幅が設定されることを特徴とする永久磁石式同期電動機。

【請求項 2】 前記永久磁石は、径方向における内方に平坦面を、径方向における外方にロータの外周縁とほぼ平行な円弧面を有する請求項 1 に記載の永久磁石式同期電動機。

【請求項 3】 前記永久磁石は、円周方向における両側に垂直面を有する請求項 1 に記載の永久磁石式同期電動機。

【請求項 4】 前記永久磁石は、径方向における内方及び外方に平坦面を有する請求項 1 に記載の永久磁石式同期電動機。

【請求項 5】 前記永久磁石は、径方向における内方及び外方にロータの外周縁とほぼ平行な円弧面を有する請求項 1 に記載の永久磁石式同期電動機。

【請求項 6】 前記磁極間鉄心開角は、各磁極間鉄心の両端面における永久磁石の外周側屈曲部と、前記回転軸の中心とを結ぶ 2 本の直線が成す角度である請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式同期電動機。

【請求項 7】 前記磁極間鉄心開角は、各磁極間鉄心の両端面における永久磁石の内周側屈曲部と、前記回転軸の中心とを結ぶ 2 本の直線が成す角度である請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式同期電動機。

## 【発明の詳細な説明】

## 【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】 本発明は、永久磁石式同期電動機に関するものである。

## 【 0 0 0 2 】

【従来の技術】 従来、永久磁石式同期電動機は、ロータの磁極となる永久磁石を備え、前記ロータの周囲にステータが配設され、該ステータにロータと対向させて複数のィースが形成されるようになっている。そして、前記ステータに巻装されたコイルに電流を供給すると、該電流によって誘起された磁束により、ステータとロータ

との間に反発力及び吸引力が発生させられ、前記反発力及び吸引力によってロータが回転するようになっている。

【 0 0 0 3 】 ところが、前記各ィース間にはスロットが形成され、また、前記各永久磁石は互いに分離させて配設されるので、ロータが回転すると、あるィースを通過していた磁束が、隣接するィースを通るようになる。このとき、永久磁石のコナ部が前記スロットを通過することによって磁束の移動が不連続になる。その結果、磁気リアクタンスの変化に伴ってステータとロータとの間の吸引力が変動し、該変動によってコギングトルクが発生してしまう。

【 0 0 0 4 】 そこで、前記各永久磁石間を径方向外方に突出させて突出部を形成するとともに、該各突出部の幅を A とし、スロットピッチを B としたとき、

$$A = (n + 1 / 2) \times B \quad (n \text{ は整数})$$

の式を満たすように前記突出部の幅 A 及びスロットピッチ B を設定することによって、コギングトルクが発生するのを抑制するようにしたものが提供されている（特開平 1 - 2 8 6 7 5 8 号公報参照）。

【 0 0 0 5 】 そして、前記ロータの円周方向における各突出部の両端に、前記永久磁石を押さえるための磁石押さえ部が形成されている場合は、該磁石押さえ部を含めた突出部の幅を A として、前記式を満たすように突出部の幅 A 及びスロットピッチ B を設定するようにしている。

## 【 0 0 0 6 】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前記従来の永久磁石式同期電動機においては、突出部の幅 A 及びスロットピッチ B を設定することによってコギングトルクが発生するのを抑制するようにしているので、ィースの幅が異なると、ロータの回転に伴って磁気リアクタンスが変化してしまう。したがって、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができない。

【 0 0 0 7 】 本発明は、前記従来の永久磁石式同期電動機の問題点を解決して、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる永久磁石式同期電動機を提供することを目的とする。

## 【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】 そのために、本発明の永久磁石式同期電動機においては、円周方向における複数箇所にてィースを備え、該各ィース間にスロットが形成されたステータと、該ステータの径方向内方において回転自在に支持された回転軸と、該回転軸に固定されたロータとから成る。

【 0 0 0 9 】 そして、該ロータは、円周方向における複数箇所にて埋設された永久磁石、及び該永久磁石を保持し、各永久磁石間に磁極間鉄心を形成するロータコアを備える。また、磁極間鉄心開角を  $\theta$  とし、前記磁極間鉄心の幅に対応するィースの各端面のうち最も離れた二

つの端面の先端と、前記回転軸の中心とを結ぶ 2 本の直線が成す角度の最小値を  $\theta_{min}$  とし、前記磁極間鉄心の幅に対応するティースにおけるティースヘッドの各端部のうち最も離れた二つの端部と、前記回転軸の中心とを結ぶ 2 本の直線が成す角度を最大値  $\theta_{max}$  としたとき、  
 $\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$

となるように前記磁極間鉄心の幅が設定される。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。図 2 は本発明の第 1 の実施の形態におけるモータ駆動装置の第 1 の断面図、図 3 は本発明の第 1 の実施の形態におけるモータ駆動装置の第 2 の断面図である。図において、11 はモータアッセンブリ、12 は該モータアッセンブリ 11 の直上に配設されたインバータアッセンブリである。前記モータアッセンブリ 11 においては、モータケース 14 内に永久磁石式同期電動機 15 が収容され、前記インバータアッセンブリ 12 においては、インバータケース 16 内にインバータ 13、コンデンサ 102、制御基板 103 等が収容される。

【0011】前記モータケース 14 は、ほぼ有底の円筒状部分 14a、及び該円筒状部分 14a の一端を閉鎖して、密閉されたモータ収容室 18 を形成する蓋（ふた）部分 14b から成る。一方、インバータケース 16 は、中央に配設されたベース 16a、該ベース 16a と前記円筒状部分 14a との間に配設された中間ケース 16b、ブラケット 16c、及び前記ベース 16a の上にスナップ止めされ、インバータ収容室 19 を形成するインバータカバー 16d から成り、前記中間ケース 16b 及びブラケット 16c は、ボルト b1 によって円筒状部分 14a に、ボルト b2 によってベース 16a にそれぞれ着脱自在に固定される。

【0012】そして、前記ベース 16a 及び中間ケース 16b の頂壁 71 によって、前記モータ収容室 18 とインバータ収容室 19 とが区画される。また、中間ケース 16b 内には室 68 が形成され、中間ケース 16b の下面に形成された開口部 75 と、前記円筒状部分 14a の上面に前記開口部 75 と対応させて形成された開口部 115 とによって、前記室 68 とモータ収容室 18 とが連通させられる。

【0013】なお、本実施の形態においては、中間ケース 16b はモータケース 14 のフロント側に、ブラケット 16c はモータケース 14 のリヤ側においてそれぞれ別体として配設されるが、一体的に形成して配設することもできる。また、前記インバータ収容室 19 は前記ベース 16a とインバータカバー 16d とによって密閉される。そして、前記ベース 16a 及びブラケット 16c におけるそれぞれ対応する箇所には、インバータカバー 16d の内外間における気圧差をなくするためのブリーザ 101 が形成され、該ブリーザ 101 を介して空気が自

由に移動することができるようになっている。

【0014】また、前記円筒状部分 14a の外周面には複数のフィン 24 が形成され、該各フィン 24 は永久磁石式同期電動機 15 によって発生させられた熱を放出する。一方、前記ベース 16a の下面には複数のフィン 26 が下方に向けて形成され、該各フィン 26 はインバータ 13 によって発生させられた熱を放出する。そして、前記円筒状部分 14a の底部の中央、及び蓋部分 14b の中央にはそれぞれ穴が形成され、該穴を貫通させて回転軸としてのモータシャフト 27 が配設され、該モータシャフト 27 はベアリング 29、30 によって回転自在に支持される。また、前記蓋部分 14b の穴に隣接させて凸部が形成され、該凸部は蓋部材 33 によって閉鎖されることによりセンサ室 34 を形成する。

【0015】そして、該センサ室 34 にはレゾルバ 35 が配設され、該レゾルバ 35 は、前記モータシャフト 27 の回転に基づいて永久磁石式同期電動機 15 の磁極位置を検出する。前記永久磁石式同期電動機 15 は、前記モータシャフト 27 の軸方向におけるほぼ中央に取り付けられ、該モータシャフト 27 と共に回転させられるロータ 37、及び円筒状部分 14a の円筒部の内周面において前記ロータ 37 と対向させて固定されたステータ 38 から成り、該ステータ 38 に 3 相（U 相、V 相及び W 相）のコイル 39 が巻装される。

【0016】したがって、該各コイル 39 に前記インバータ 13 において発生させられた 3 相の交流電流を供給することによって、ロータ 37 を回転させることができる。前記ロータ 37 は、複数の鋼板を積層した状態でモータシャフト 27 に嵌（かん）合される。そして、前記ロータ 37 の外周には、円周方向における複数箇所に永久磁石 105 が埋設される。該永久磁石 105 は、両端に配設されたストッパ 106、107 によって押さえられた状態で固定され、磁極を構成する。

【0017】また、前記円筒状部分 14a の底部には、リヤケース 81 がボルト b5 によって取り付けられる。前記リヤケース 81 は凹部を有し、リヤケース 81 にリヤカバー 82 を固定することによって、トルク伝動室 83 が形成される。そして、該トルク伝動室 83 においては、カウンタシャフト 84 が前記モータシャフト 27 と平行に配設され、ベアリング 85、86 を介して回転自在に支持される。

【0018】また、前記モータシャフト 27 にカウンタドライブギヤ 87 が、前記カウンタシャフト 84 にカウンタドリブンギヤ 88 及びパーキングギヤ 126 がそれぞれ固定されるとともに、前記カウンタドライブギヤ 87 とカウンタドリブンギヤ 88 とが噛（し）合させられる。そして、前記カウンタシャフト 84 に出カギヤ 89 が配設され、該出カギヤ 89 の回転がディファレンシャル装置 90 に伝達される。

【0019】該ディファレンシャル装置 90 は、外周に

リングギヤ91を備えるとともに、ベアリング79、80を介して回転自在に支持されたディファレンシャルケース92、該ディファレンシャルケース92に固定されたピニオン軸93、該ピニオン軸93に回転自在に支持されたピニオン94、及び該ピニオン94と噛合する左右のサイドギヤ95、96から成る。したがって、前記ディファレンシャル装置90によって、前記リングギヤ91に伝達された回転を左右の駆動軸97、98に分割して伝達する。

【0020】前記トルク伝動室83の最下部には、潤滑用及び冷却用の油が溜（た）められ、前記リングギヤ91の回転に伴って前記油が掻（か）き上げられるようになっている。そして、掻き上げられた油は、カウンタドライブギヤ87、カウンタドリブンギヤ88、出力ギヤ89、ディファレンシャル装置90、リングギヤ91等を循環するとともに、油受けパイプ110を介してモータシャフト27内の油路111に送られ、ロータ37の回転に伴う遠心力によって、モータシャフト27に形成された油穴108、及びストッパ106に形成された油溝109を通り、ロータ37に形成された油路120に送られてロータ37を冷却し、更にコイル39を冷却する。

【0021】ところで、該各コイル39のリード線39aはそれぞれ上方に延び、各リード線39aの先端に圧着端子41が接続される。そして、該圧着端子41は、前記室68内においてボルトb3によって連結部材51と連結される。一方、インバータ13の各トランジスタモジュール13aの出力端子62は、インバータカバー16d内において連結部材51とボルトb4とによって連結される。そして、前記連結部材51は、前記インバータカバー16d内からベース16aを貫通し、更に前記頂壁71を貫通して中間ケース16b内に延びる。また、前記室68は、連結部材51の下端側を包囲する。なお、前記トランジスタモジュール13aは、図示しない二つのトランジスタによって構成される。

【0022】次に、前記構成の永久磁石式同期電動機15について説明する。図1は本発明の第1の実施の形態における永久磁石式同期電動機の断面図である。図において、15は永久磁石式同期電動機、27はモータシャフト、37は該モータシャフト27に固定されたロータ、38は該ロータ37の外周側に配設されたステータである。そして、前記ロータ37の外周縁の近傍には、円周方向における複数箇所に永久磁石105が埋設される。該永久磁石105は、断面が「D」字状であり、径方向における内方に平坦（たん）面166を、径方向における外方にロータ37の外周縁とほぼ平行な円弧面167を、円周方向における両側方にテーパ面168を有する。そして、前記円弧面167とテーパ面168との間に外周側屈曲部133が、前記平坦面166とテーパ面168との間に内周側屈曲部134がそれぞれ形成さ

れる。

【0023】また、135は前記永久磁石105を支持するロータコアであり、該ロータコア135の外周縁、すなわち、前記ロータ37の外周縁の近傍には、円周方向における複数箇所に前記永久磁石105を挿入するための穴199が形成され、かつ、該各穴199間に磁極間鉄心136が、前記各永久磁石105より径方向外方に磁石保持部144がそれぞれ形成され、該磁石保持部144によって永久磁石105が包囲され保持される。

【0024】前記ステータ38には、円周方向における複数箇所にロータ37と対向させてティース130が形成され、該ティース130は、ロータ37の外周縁部から径方向内方に向けて延びる本体部141、及び該本体部141の先端において円周方向における両側に突出し、前記ステータ38に巻装されたコイル39（図2）が抜けるのを防止するティースヘッド139から成る。そして、前記コイル39に電流を供給すると、該電流によって誘起された磁束によりステータ38とロータ37との間に反発力及び吸引力が発生させられ、前記反発力及び吸引力によってロータ37が回転するようになっている。

【0025】ところが、前記各ティース130間にはスロット131が形成され、また、前記各永久磁石105は互いに分離させて配設されるので、ロータ37が回転すると、あるティース130を通過していた磁束が、隣接するティース130を通るようになる。このとき、前記永久磁石105が前記スロット131を通過することによって磁束の移動が不連続になると、磁気リアクタンスの変化に伴ってステータ38とロータ37との間の吸引力が変動し、該変動によってコギングトルクが発生してしまう。

【0026】そこで、前記永久磁石105が前記スロット131を通過するとき磁束の移動が不連続になることがなく、磁気リアクタンスの変化が生じないように、前記磁極間鉄心136の幅が設定される。すなわち、前記磁極間鉄心136によって構成される磁極間鉄心開角を $\theta$ としたとき、該磁極間鉄心開角 $\theta$ が前記ティース130の幅に対応させて規定される最大値 $\theta_{max}$ と最小値 $\theta_{min}$ との間の範囲に収まるように設定される。

【0027】ところで、前記永久磁石105としては、各種の形状のものが提供されているので、永久磁石105のどの部分が前記スロット131を通過すると磁束の移動が不連続になるかは、永久磁石105の形状、材質等によって異なる。例えば、第1の実施の形態においては、前記外周側屈曲部133が前記スロット131を通過するとき磁束の移動が不連続になる。そこで、第1の実施の形態において、磁極間鉄心開角 $\theta$ は、各磁極間鉄心136の両端部における前記外周側屈曲部133と、前記モータシャフト27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度とされる。

【0028】図4は本発明の第1の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図、図5は本発明の第1の実施の形態における磁極間鉄心開角を最小値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、図4に示すように、磁極間鉄心136の幅に対応する3個のティース130の各ティースヘッド139の端部のうち最も離れた二つの端部をP1、P2とし、各端部P1、P2の先端とモータシャフト27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度を最大値 $\theta_{max}$ とする。

【0029】また、図5に示すように、磁極間鉄心136の幅に対応する3個のティース130の各端面のうち最も離れた二つの端面S1、S2の先端Q1、Q2（すなわち、前記端部P1、P2のつけね部）と、前記モータシャフト27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度を最小値 $\theta_{min}$ とする。したがって、磁極間鉄心開角 $\theta$ が

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$

となるように設定することによって、ティース130の幅が異なっても磁気リアクタンスが変化することがなくなるので、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。また、トルクリップルが発生するのを十分に抑制することもできる。なお、本実施の形態において、前記磁極間鉄心136の幅に対応するティース130は3個あるが、磁極間鉄心136の幅が変化すると、対応するティース130の個数も変化する。

【0030】図6は実験結果による磁極間鉄心開角とトルク変動率との関係を表す図、図7は実験結果によるロータ回転角とトルク／トルク平均値との関係を表す図である。なお、図6において、横軸に磁極間鉄心開角 $\theta$ を、縦軸にトルク変動率を、図7において、横軸にロータ回転角を、縦軸にトルク／トルク平均値を採っている。

【0031】図6においては、スロット131のピッチ、すなわち、スロットピッチを $10^\circ$ とし、ティース130の最も離れた二つの端面S1（図5）、S2の先端Q1、Q2とモータシャフト27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度を $25^\circ$ とし、ティースヘッド139の端部のうち最も離れた二つの端部P1（図4）、P2とモータシャフト27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度を $27.5^\circ$ としたときの、磁極間鉄心開角 $\theta$ に対するトルク変動率が示される。図から分かるように、磁極間鉄心開角 $\theta$ が

$$25 \leq \theta \leq 27.5 \quad [^\circ]$$

となるときに、トルク変動率が小さくなり、コギングトルクが発生するのが十分に抑制される。この場合、

$$\theta_{min} = 25 \quad [^\circ]$$

$$\theta_{max} = 27.5 \quad [^\circ]$$

になり、最小値 $\theta_{min}$ はティース130の最も離れた二つの端面S1、S2の先端Q1、Q2とモータシャフト

27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度を、最大値 $\theta_{max}$ はティースヘッド139の端部のうち最も離れた二つの端部P1、P2とモータシャフト27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度をそれぞれ表す。

【0032】したがって、磁極間鉄心開角 $\theta$ を

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$

と設定すればよいことが分かる。また、図7において、aは磁極間鉄心開角 $\theta$ を $27.5^\circ$ にしたときの、bは磁極間鉄心開角 $\theta$ を $26^\circ$ にしたときの、cは磁極間鉄心開角 $\theta$ を $25^\circ$ にしたときのロータ回転角とトルク／トルク平均値との関係を示す。

【0033】次に、前記永久磁石式同期電動機15（図1）におけるロータ37の製造方法について説明する。

①Nd、Fe、B、Co等の原料を溶解させて磁石合金インゴットにする。そして、該磁石合金インゴットを粉砕して粉末にし、永久磁石105の「D」字状の原型を磁場中で成形する。また、前記「D」字状の原型を焼結し、時効処理（アニーリング）を施す。

②ロータコア135の穴199と接触する永久磁石105のテーパ面168を研削加工し、永久磁石105の製造を完成する。このとき、前記穴199と接触しない前記円弧面167を同時に研削加工することもできる。

③Niラックメッキ又はNiパレルメッキによって前記永久磁石105に表面処理を施す。

④穴199、磁極間鉄心136、磁石保持部144等を備えた電磁鋼板をプレス加工によって打ち抜く。

⑤前記電磁鋼板を積層してモータシャフト27に嵌合し、ロータコア135を形成する。

⑥前記永久磁石105を、前記モータシャフト27の軸方向から各磁極間鉄心136間の前記穴199に挿入する。

⑦ロータコア135の両端において、ストッパ106（図2）、107をそれぞれモータシャフト27に嵌合し、ロータ37を形成する。これによって、前記永久磁石105の軸方向位置は前記ストッパ106、107によって決まる。

⑧着磁ヨーク内において前記ロータ37にパルス電流による磁場を与えることによって、前記永久磁石105のすべての磁極について同時に着磁させ、ロータ37が完成する。

【0034】次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。図8は本発明の第2の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図、図9は本発明の第2の実施の形態における磁極間鉄心開角を最小値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、永久磁石205は、断面が「D」字状であり、径方向における内方に平坦面206を、径方向における外方にロータ37の外周縁とほぼ平行な円弧面207を、円周方向における両側方に垂直面208を有する。そして、前記円弧面207と垂直

10

20

30

40

50

面 2 0 8 との間に外周側屈曲部 2 3 3 が形成される。

【0 0 3 5】そこで、第 2 の実施の形態において、磁極間鉄心開角  $\theta$  は、各磁極間鉄心 2 3 6 の両端部における前記外周側屈曲部 2 3 3 と、モータシャフト 2 7 の中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度とされる。そして、図 8 に示すように、磁極間鉄心 2 3 6 の幅に対応する 3 個のティース 1 3 0 の各ティースヘッド 1 3 9 の端部のうち最も離れた二つの端部を P 1、P 2 とし、各端部 P 1、P 2 の先端と前記中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度を最大値  $\theta_{max}$  とする。

【0 0 3 6】また、図 9 に示すように、磁極間鉄心 2 3 6 の幅に対応する 3 個のティース 1 3 0 の各端面のうち最も離れた二つの端面 S 1、S 2 の先端 Q 1、Q 2 と、前記中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度を最小値  $\theta_{min}$  とする。したがって、前記第 1 の実施の形態と同様に、磁極間鉄心開角  $\theta$  が

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$

となるように設定することによって、トルク変動率を小さくすることができ、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。

【0 0 3 7】次に、本発明の第 3 の実施の形態について説明する。図 1 0 は本発明の第 3 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図、図 1 1 は本発明の第 3 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最小値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、永久磁石 3 0 5 は、断面が矩 (く) 形状であり、径方向における内方に平坦面 3 0 6 を、径方向における外方に平坦面 3 0 7 を、円周方向における両側方に垂直面 3 0 8 を有する。そして、前記平坦面 3 0 7 と垂直面 3 0 8 との間に外周側屈曲部 3 3 3 が形成される。

【0 0 3 8】そこで、第 3 の実施の形態において、磁極間鉄心開角  $\theta$  は、各磁極間鉄心 3 3 6 の両端部における前記外周側屈曲部 3 3 3 と、モータシャフト 2 7 の中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度とされる。そして、図 1 0 に示すように、磁極間鉄心 3 3 6 の幅に対応する 3 個のティース 1 3 0 の各ティースヘッド 1 3 9 の端部のうち最も離れた二つの端部を P 1、P 2 とし、各端部 P 1、P 2 の先端と前記中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度を最大値  $\theta_{max}$  とする。

【0 0 3 9】また、図 1 1 に示すように、磁極間鉄心 3 3 6 の幅に対応する 3 個のティース 1 3 0 の各端面のうち最も離れた二つの端面 S 1、S 2 の先端 Q 1、Q 2 と、前記中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度を最小値  $\theta_{min}$  とする。したがって、前記第 1 の実施の形態と同様に、磁極間鉄心開角  $\theta$  が

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$

となるように設定することによって、トルク変動率を小さくすることができ、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。

【0 0 4 0】次に、本発明の第 4 の実施の形態について説明する。図 1 2 は本発明の第 4 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図、図 1 3 は本発明の第 4 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最小値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、永久磁石 4 0 5 は、断面が瓦 (かわら) 形状であり、径方向における内方にロータ 3 7 の外周縁とほぼ平行な円弧面 4 0 6 を、径方向における外方に前記ロータ 3 7 の外周縁とほぼ平行な円弧面 4 0 7 を、円周方向における両側方に垂直面 4 0 8 を有する。そして、各永久磁石 4 0 5 における前記円弧面 4 0 7 と垂直面 4 0 8 との間に外周側屈曲部 4 3 3 が形成される。

【0 0 4 1】そこで、第 4 の実施の形態において、磁極間鉄心開角  $\theta$  は、各磁極間鉄心 4 3 6 の両端部における前記外周側屈曲部 4 3 3 と、モータシャフト 2 7 の中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度とされる。そして、図 1 2 に示すように、磁極間鉄心 4 3 6 の幅に対応する 3 個のティース 1 3 0 の各ティースヘッド 1 3 9 の端部のうち最も離れた二つの端部を P 1、P 2 とし、各端部 P 1、P 2 の先端と前記中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度を最大値  $\theta_{max}$  とする。

【0 0 4 2】また、図 1 3 に示すように、磁極間鉄心 4 3 6 の幅に対応する 3 個のティース 1 3 0 の各端面のうち最も離れた二つの端面 S 1、S 2 の先端 Q 1、Q 2 と、前記中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度を最小値  $\theta_{min}$  とする。したがって、前記第 1 の実施の形態と同様に、磁極間鉄心開角  $\theta$  が

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$

となるように設定することによって、トルク変動率を小さくすることができ、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。

【0 0 4 3】次に、本発明の第 5 の実施の形態について説明する。図 1 4 は本発明の第 5 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、永久磁石 1 0 5 は、断面が「D」字状であり、径方向における内方に平坦面 1 6 6 を、径方向における外方にロータ 3 7 の外周縁とほぼ平行な円弧面 1 6 7 を、円周方向における両側方にテーパ面 1 6 8 を有する。そして、前記平坦面 1 6 6 とテーパ面 1 6 8 との間に内周側屈曲部 1 3 4 が形成される。

【0 0 4 4】この場合、前記内周側屈曲部 1 3 4 がスロット 1 3 1 を通過するときに磁束の移動が不連続になる。そこで、第 5 の実施の形態において、磁極間鉄心開角  $\theta$  は、各磁極間鉄心 1 3 6 の両端部における前記内周側屈曲部 1 3 4 と、モータシャフト 2 7 の中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度とされる。したがって、前記第 1 の実施の形態と同様に、磁極間鉄心開角  $\theta$  が

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$



となるように設定することによって、トルク変動率を小さくすることができ、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。

【0045】次に、本発明の第6の実施の形態について説明する。図15は本発明の第6の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、永久磁石205は、断面が「D」字状であり、径方向における内方に平坦面206を、径方向における外方にロータ37の外周縁とほぼ平行な円弧面207を、円周方向における両側方に垂直面208を有する。そして、前記平坦面206と垂直面208との間に内周側屈曲部234が形成される。

【0046】そこで、第6の実施の形態において、磁極間鉄心開角 $\theta$ は、各磁極間鉄心236の両端部における前記内周側屈曲部234と、モータシャフト27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度とされる。したがって、前記第1の実施の形態と同様に、磁極間鉄心開角 $\theta$ が

$$\theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max}$$

となるように設定することによって、トルク変動率を小さくすることができ、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。

【0047】次に、本発明の第7の実施の形態について説明する。図16は本発明の第7の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、永久磁石305は、断面が矩形状であり、径方向における内方に平坦面306を、径方向における外方に平坦面307を、円周方向における両側方に垂直面308を有する。そして、前記平坦面306と垂直面308との間に内周側屈曲部334が形成される。

【0048】そこで、第7の実施の形態において、磁極間鉄心開角 $\theta$ は、各磁極間鉄心336の両端部における前記内周側屈曲部334と、モータシャフト27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度とされる。したがって、前記第1の実施の形態と同様に、磁極間鉄心開角 $\theta$ が

$$\theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max}$$

となるように設定することによって、トルク変動率を小さくすることができ、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。

【0049】次に、本発明の第8の実施の形態について説明する。図17は本発明の第8の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、永久磁石405は、断面が瓦形状であり、径方向における内方にロータ37の外周縁とほぼ平行な円弧面406を、径方向における外方に前記ロータ37の外周縁とほぼ平行な円弧面407を、円周方向における両側方に垂直面408を有する。そして、前記円弧面406と垂直面408との間に内周

側屈曲部434が形成される。

【0050】そこで、第8の実施の形態において、磁極間鉄心開角 $\theta$ は、各磁極間鉄心436の両端部における前記内周側屈曲部434と、モータシャフト27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度とされる。したがって、前記第1の実施の形態と同様に、磁極間鉄心開角 $\theta$ が

$$\theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max}$$

となるように設定することによって、トルク変動率を小さくすることができ、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。

【0051】次に、本発明の第9の実施の形態について説明する。図18は本発明の第9の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、永久磁石505は、断面が「D」字状であり、径方向における内方に平坦面506を、径方向における外方に前記ロータ37の外周縁とほぼ平行な円弧面507を、円周方向における両側方に、径方向に延びるテーパ面508を有する。そして、前記円弧面507とテーパ面508との間に外周側屈曲部533が、前記平坦面506とテーパ面508との間に内周側屈曲部534がそれぞれ形成される。

【0052】この場合、前記テーパ面508が径方向に延びるので、前記外周側屈曲部533及び内周側屈曲部534がスロット131を通過するときに磁束の移動が不連続になる。そこで、第9の実施の形態において、磁極間鉄心開角 $\theta$ は、各磁極間鉄心536の両端部における前記外周側屈曲部533及び内周側屈曲部534と、モータシャフト27の中心Oとを結ぶ2本の直線が成す角度とされる。

【0053】したがって、前記第1の実施の形態と同様に、磁極間鉄心開角 $\theta$ が

$$\theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max}$$

となるように設定することによって、トルク変動率を小さくすることができ、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。次に、本発明の第10の実施の形態について説明する。

【0054】図19は本発明の第10の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、永久磁石605は、断面が逆台形状であり、径方向における内方に平坦面606を、径方向における外方に平坦面607を、円周方向における両側方に、径方向に延びるテーパ面608を有する。そして、前記平坦面607とテーパ面608との間に外周側屈曲部633が、前記平坦面606とテーパ面608との間に内周側屈曲部634がそれぞれ形成される。

【0055】そこで、第10の実施の形態において、磁極間鉄心開角 $\theta$ は、各磁極間鉄心636の両端部における前記外周側屈曲部633及び内周側屈曲部634と、

モータシャフト 27 の中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度とされる。したがって、前記第 1 の実施の形態と同様に、磁極間鉄心開角  $\theta$  が

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$

となるように設定することによって、トルク変動率を小さくすることができ、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。

【0056】次に、本発明の第 1 の実施の形態について説明する。図 20 は本発明の第 1 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。この場合、永久磁石 705 は、断面が瓦形状であり、径方向における内方にロータ 37 の外周縁とほぼ平行な円弧面 706 を、径方向における外方に前記ロータ 37 の外周縁とほぼ平行な円弧面 707 を、円周方向における両側方に、径方向に延びるテーパ面 708 を有する。そして、前記円弧面 707 とテーパ面 708 との間に外周側屈曲部 733 が、前記円弧面 706 とテーパ面 708 との間に内周側屈曲部 734 がそれぞれ形成される。

【0057】そこで、第 1 の実施の形態において、磁極間鉄心開角  $\theta$  は、各磁極間鉄心 736 の両端部における前記外周側屈曲部 733 及び内周側屈曲部 734 と、モータシャフト 27 の中心 O とを結ぶ 2 本の直線が成す角度とされる。したがって、前記第 1 の実施の形態と同様に、磁極間鉄心開角  $\theta$  が

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$

となるように設定することによって、トルク変動率を小さくすることができ、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。

【0058】なお、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々変形させることが可能であり、それらを本発明の範囲から排除するものではない。

【0059】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明によれば、永久磁石式同期電動機においては、円周方向における複数箇所にティースを備え、該各ティース間にスロットが形成されたステータと、該ステータの径方向内方において回転自在に支持された回転軸と、該回転軸に固定されたロータとから成る。

【0060】そして、該ロータは、円周方向における複数箇所に埋設された永久磁石、及び該永久磁石を保持し、各永久磁石間に磁極間鉄心を形成するロータコアを備える。また、磁極間鉄心開角を  $\theta$  とし、前記磁極間鉄心の幅に対応するティースの各端面のうち最も離れた二つの端面の先端と、前記回転軸の中心とを結ぶ 2 本の直線が成す角度の最小値を  $\theta_{min}$  とし、前記磁極間鉄心の幅に対応するティースにおけるティースヘッドの各端面のうち最も離れた二つの端面と、前記回転軸の中心とを結ぶ 2 本の直線が成す角度の最大値を  $\theta_{max}$  としたと

き、

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$

となるように前記磁極間鉄心の幅が設定される。

【0061】この場合、永久磁石がスロットを通過するときに磁束の移動が不連続になることがなく、磁気リアクタンスの変化が生じない。したがって、コギングトルクが発生するのを十分に抑制することができる。また、トルクリップルが発生するのを十分に抑制することもできる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態における永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施の形態におけるモータ駆動装置の第 1 の断面図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施の形態におけるモータ駆動装置の第 2 の断面図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 5】本発明の第 1 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最小値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 6】実験結果による磁極間鉄心開角とトルク変動率との関係を表す図である。

【図 7】実験結果によるロータ回転角とトルク／トルク平均値との関係を表す図である。

【図 8】本発明の第 2 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 9】本発明の第 2 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最小値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 10】本発明の第 3 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 11】本発明の第 3 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最小値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 12】本発明の第 4 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 13】本発明の第 4 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最小値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 14】本発明の第 5 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 15】本発明の第 6 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。



15

【図 1 6】本発明の第 7 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 1 7】本発明の第 8 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 1 8】本発明の第 9 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 1 9】本発明の第 1 0 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

【図 2 0】本発明の第 1 1 の実施の形態における磁極間鉄心開角を最大値にしたときの永久磁石式同期電動機の断面図である。

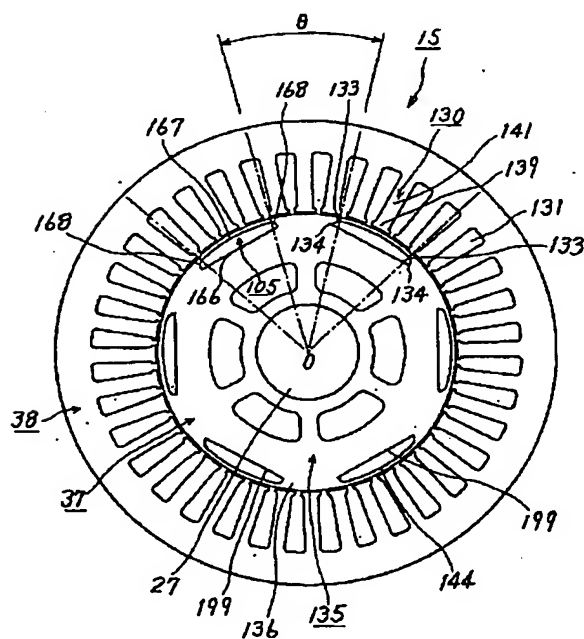
【符号の説明】

1 5 永久磁石式同期電動機  
2 7 モータシャフト  
3 7 ロータ  
3 8 ステータ

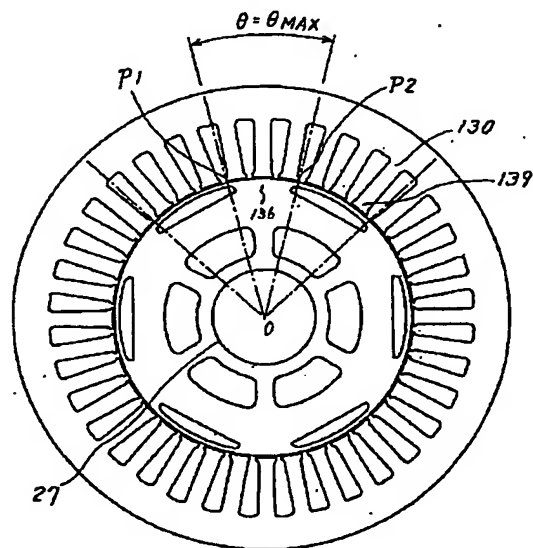
16

1 0 5、2 0 5、3 0 5、4 0 5、5 0 5、6 0 5、7 0 5 永久磁石  
1 3 0 ティース  
1 3 1 スロット  
1 3 3、2 3 3、3 3 3、4 3 3、5 3 3、6 3 3、7 3 3 外周側屈曲部  
1 3 4、2 3 4、3 3 4、4 3 4、5 3 4、6 3 4、7 3 4 内周側屈曲部  
1 3 5 ロータコア  
1 3 6、2 3 6、3 3 6、4 3 6、5 3 6、6 3 6、7 3 6 磁極間鉄心  
1 3 9 ティースヘッド  
1 6 6、2 0 6、3 0 6、3 0 7、5 0 6、6 0 6、6 0 7 平坦面  
1 6 7、2 0 7、4 0 6、4 0 7、5 0 7、7 0 6、7 0 7 円弧面  
2 0 8、3 0 8、4 0 8 垂直面  
Q 1、Q 2 先端  
P 1、P 2 端部  
2 0 S 1、S 2 端面

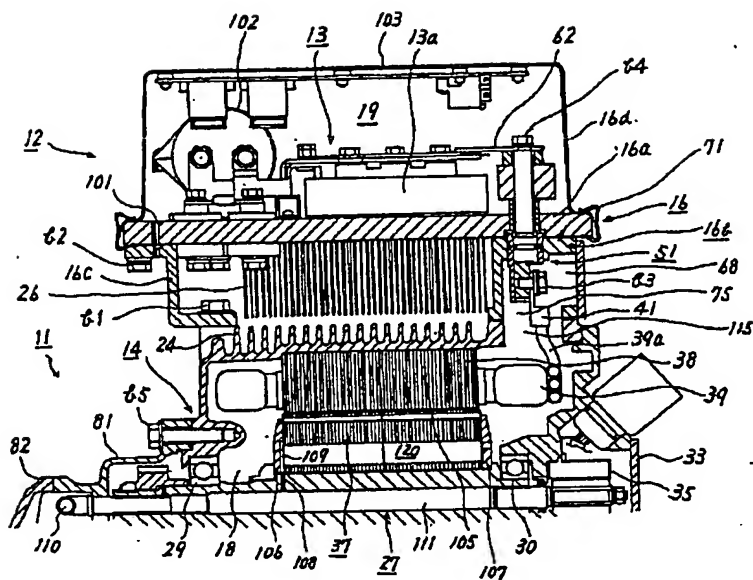
【図 1】



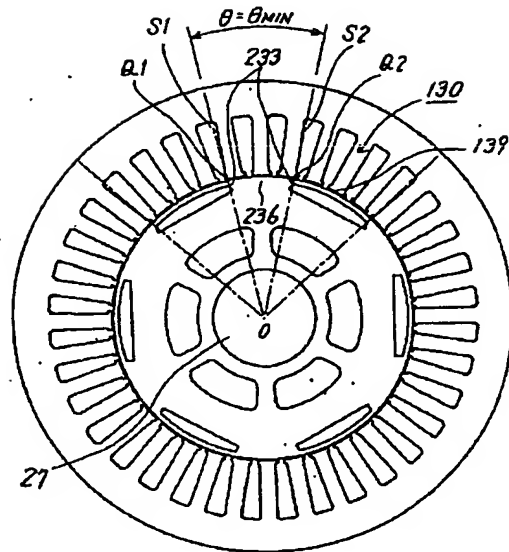
【図 4】



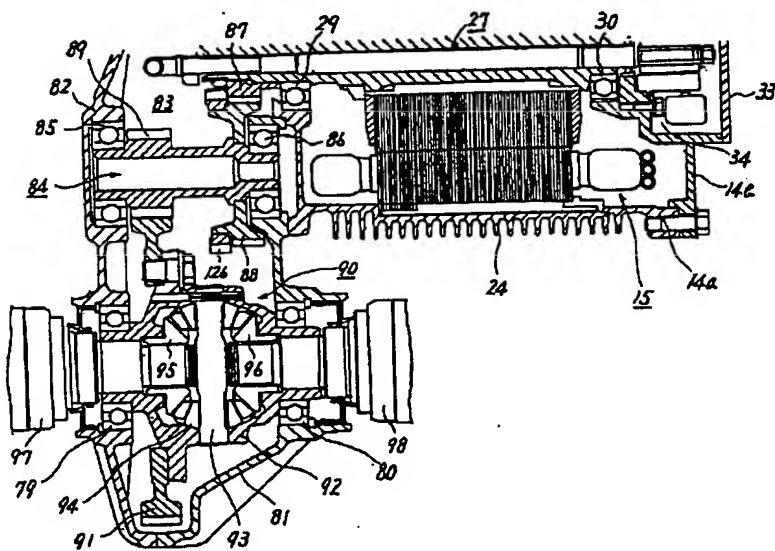
【図 2】



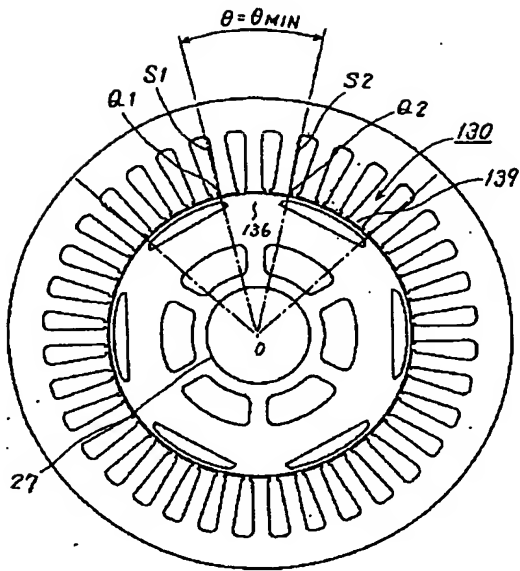
【图9】



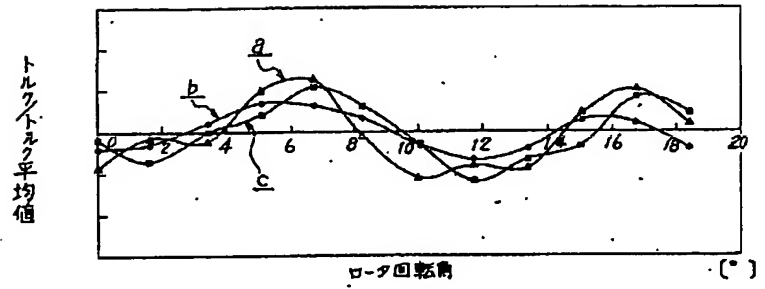
【図 3】



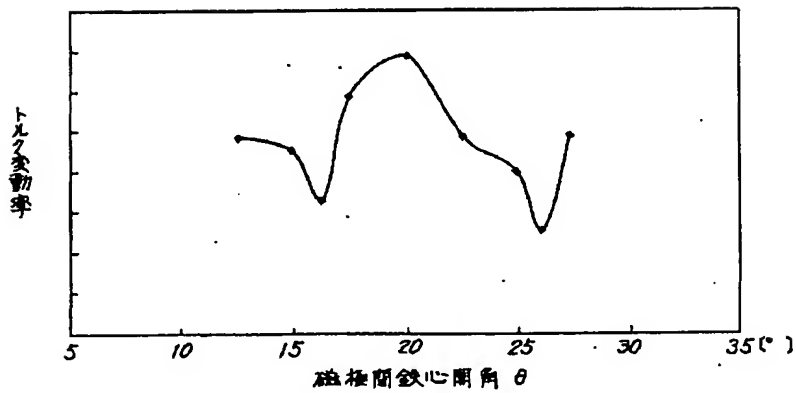
【図 5】



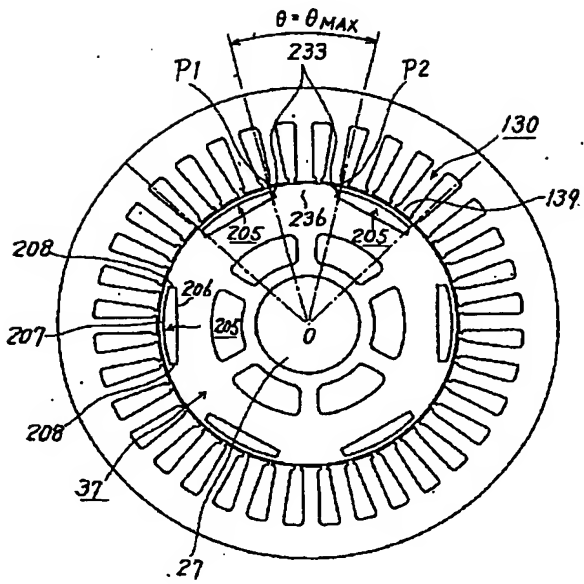
【図 7】



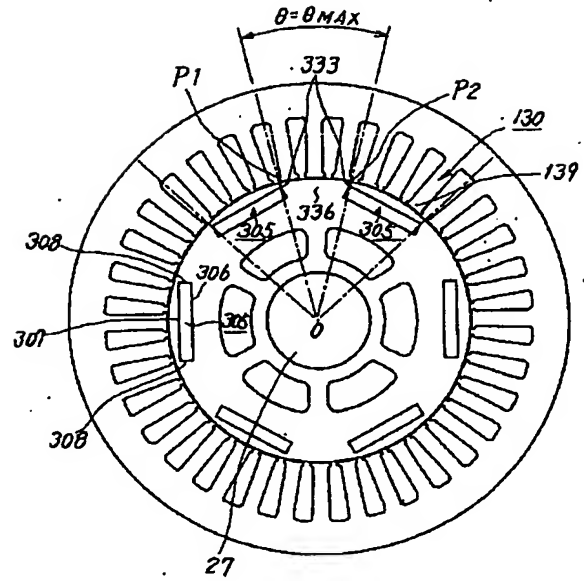
【図 6】



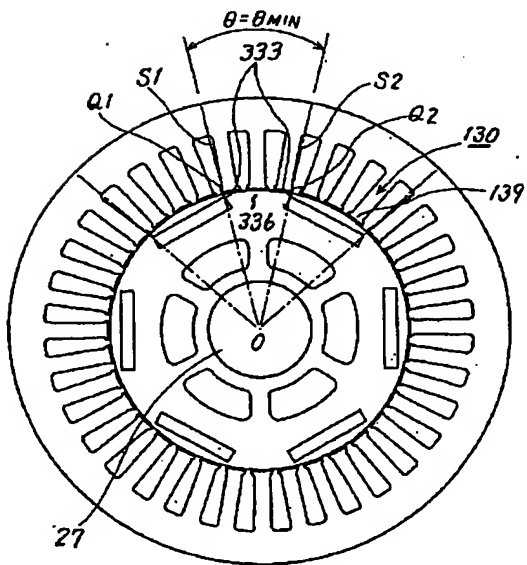
【図 8】



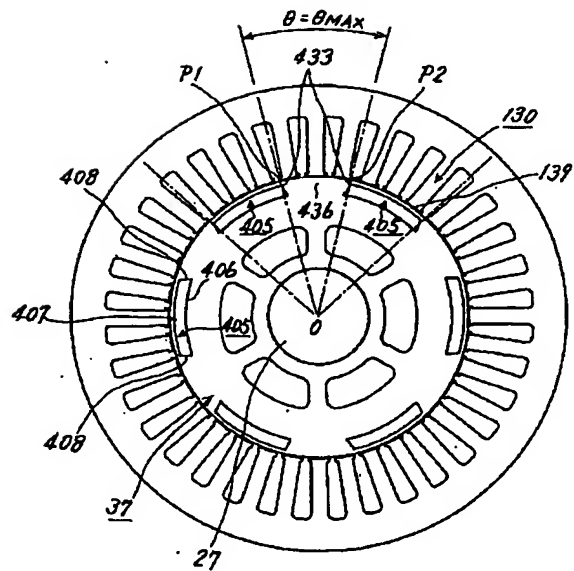
【図 10】



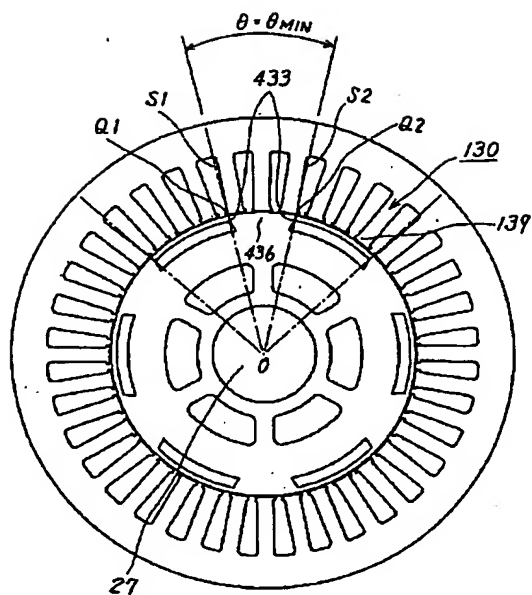
【図 11】



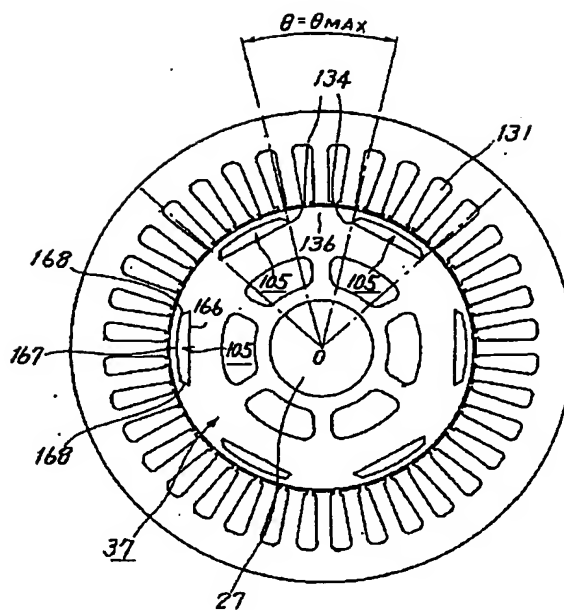
【図 12】



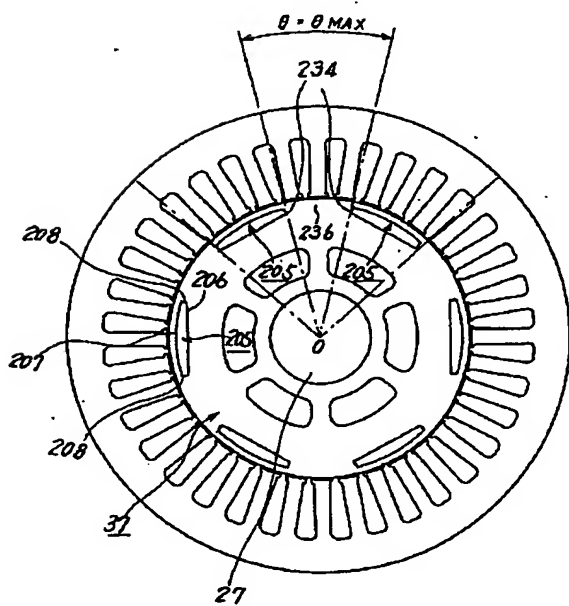
【图 13】



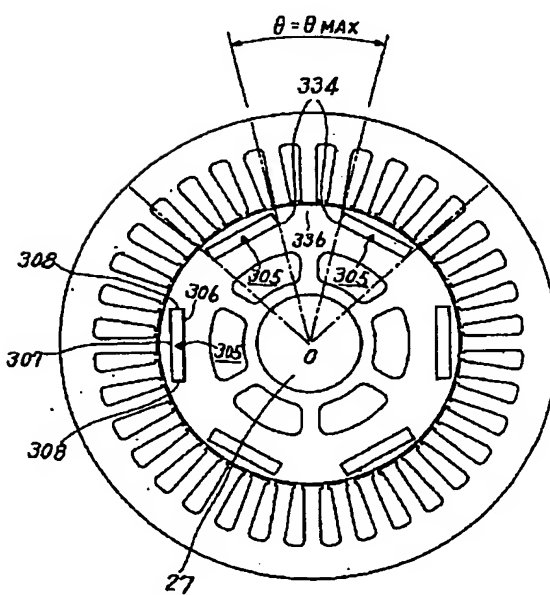
【図 14】



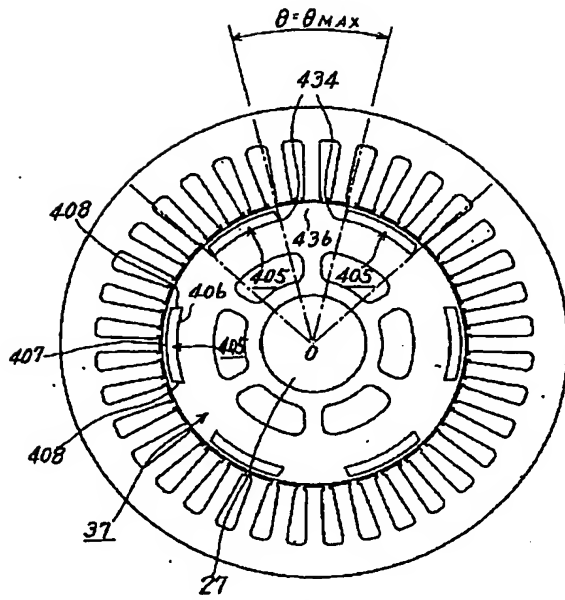
【図 15】



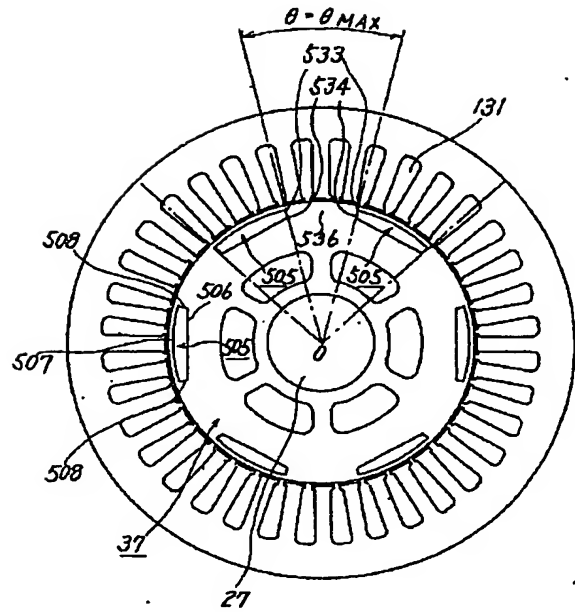
【图 16】



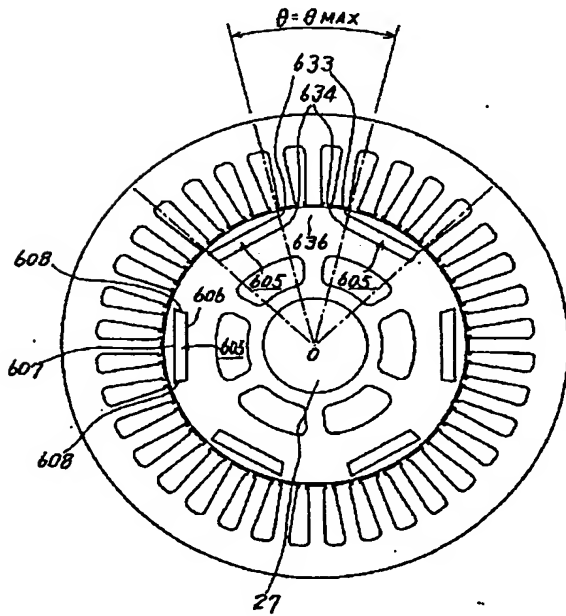
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【図 20】

